

Fig. 5. Effect of heating rate on conical cup value of low carbon steel sheets.

重相関係数 $r = 0.893$

帰平面 $Z = 0.308x - 2.418y + 38.58$

Z: コニカルカップ値, x: 結晶粒度, y: \bar{R} 値

このようにコニカルカップ値は結晶粒度, \bar{R} 値と強い重相関係があり, コニカルカップ値と加熱速度との関係が結晶粒度, \bar{R} 値のおおのとの加熱速度との関係の合成されたものであることが確認された。また Fig. 5 の関係は前報の Fig. 1 と Fig. 4 の関係からよく説明できた。

(2) プレス成形性におよぼす加熱速度の影響

前報と本報の結果から, リムド低炭素鋼の張り出し性は加熱速度によりほとんど変化しない。絞り性は加熱速度のおそいほど向上する。したがってプレス成形性のためにはできるだけおそい加熱速度で加熱することががぞましい。アルミキルド低炭素鋼の張り出し性の最適加熱速度は Sol Al 量により変る。一方絞り性は Sol Al 量にかかわらず実験範囲内では 10°C/hr 加熱の場合最も良好になる。したがって絞り性, 張り出し性が同時に最大となる加熱速度は Al キルド低炭素鋼すべてに存在するとはいえない。したがって同時にこの両性質をできるだけ良好にするには張り出し性が最大になる加熱速度で焼鈍することが必要である。この加熱速度条件では選択的な結晶成長に付随する結晶優先方位の発達が生じるからである。

IV. 結 言

リムド低炭素鋼および Al キルド低炭素鋼の機械的性質におよぼす焼鈍加熱速度の影響を検討した結果をまとめると,

(1) 下降伏点, 引張り強さ, 降伏比, エリクセン値の加熱速度による変化は結晶粒度の加熱速度による変化と同じ傾向を示す。リムド低炭素鋼での変化はごくわずかであるが, Al キルド低炭素鋼では著しい。

(2) コニカルカップ値は結晶粒度, \bar{R} 値と相関がある。したがってコニカルカップ値の加熱速度による変化は, 結晶粒度, \bar{R} 値のおおのこの加熱速度による変化が合成されて成立つものと考えられる。

文 献

1) 本大会同時発表講演論文, Part I

621,783, 223:621,785, 3:621,78, 01

(200) 連続焼鈍炉の実用焼鈍サイクルについて No. 64362

八幡製鉄所, 戸畑製造所

定村 祐三・○安藤 成海

On the Practical Annealing Cycle of the Continuous Annealing Furnace.

Yuzo SADAMURA and Narumi ANDO.

I. 緒 言 PP2059-2102

連続焼鈍炉における焼鈍サイクルの設定に関しては, もちろん基礎的な冶金学的考慮¹⁾を必要とするが, これらの基礎研究結果が必ずしもそのまま全てに適用し得るものではなく, 最終的には, 実際の炉について数種の実験結果と再現試験結果より, その炉特性を加味した焼鈍サイクルを決定しなければならない。

かかる見地から, 本研究は八幡製鉄所戸畑製造所ブリキ用連続焼鈍炉につき, その比較的低速範囲における炉特性を調査し, あわせて実用焼鈍サイクル探究を目的としてなされたものである。

II. 供試材および実験方法の概略

炉内各帯設定温度の組合せは極めて多数におよびすべてを考えることは著しく繁雑となり, かつ必ずしも実際のでないゆえ, 本実験では Table 1 のごとく加熱帯設定温度を基準とした基本サイクルを考え, 加熱帯設定温度 T を 575°C から 875°C まで 25°C ステップで変化せしめた。一方焼鈍速度は 107m/min (350 t/min), 168 m/min (550 t/min), および 230m/min (750 t/min) で行なつた。

また供試材は板厚 0.23mm ないし 0.31mm 板巾 730 mm ないし 835mm の冷延コイルで, Table 2 のごとく

Table 1. Base set temperature.

Section	Zone No.	Set temp. (°C)
Heating Holding	#1~#6	T
	#7~#8	T-40
Retard cooling	#9~#10 and cooling cont.	510

Table 2. Chemical composition of test steels. (%)

Steel	Ingot type	C	Si	Mn	P	S	Cu	N
A	Rimmed	0.08	0.01	0.30	0.02	0.023	0.130	0.003
B	Capped	0.09	0.01	0.38	0.01	0.025	0.140	0.003
C	〃	0.09	0.01	0.34	0.01	0.023	0.140	0.010
D	〃	0.09	0.01	0.50	0.15	0.028	0.150	0.016

P, N, および造塊形式の異なる4鋼種を用いた。

以上, 設定温度, 焼鈍速度, および鋼種をほぼ完全に組合せて実験を行なったが, 各条件変更ごとに少なくとも6tの炉況調整コイルを通し前条の影響を完全に消去した。また各条件ごとに各帯出側ストリップ温度, および焼鈍後硬度を定間隔に10~20点測定し, 試験コイル長手方向中央部で焼鈍板の引張試験, エリクセン, および顕微鏡試験を行なった。

III. 実験結果および考察

(1) ストリップ温度におよぼすいろいろの要因 (炉特性)

Fig. 1 は本焼鈍炉の炉内温度調整, およびストリップ温度検出機構の概略を示す。すなわちサーモカップルにより検出される炉内雰囲気温度は電子管式自動制御装置により所定の設定温度に調整され, ストリップ温度は各帯出側トンネルに装備された輻射管式温度計により検出せられる。各輻射管式温度計の検出可能最低温度は, 加熱および均熱帯で500°C, 徐冷および急冷帯では250°Cで, 比較的低速作業では徐冷帯以降のストリップ温度は必ずしも検出され得ない。

実験で求められたストリップ温度を, 加熱帯設定温度 T°C の関係で示せば Fig. 2 のごとく, 加熱および均熱帯ストリップ温度は板厚, 板巾, さらに焼鈍速度の変化にもかかわらず比較的ばらつきの少ない直線関係になる。すなわち, 今, 加熱帯ストリップ温度を Y°C とすれば次のごとき実験式を得る。

$$Y = 0.98T - 68.4 \dots \dots \dots (1)$$

しかし, 同一設定温度におけるストリップ温度のばらつきが比較的小であるとはいえ, なお T-Y 関係直線を中心とし ±25°C 程度の変化がみられる。このような温度変化をもたらす原因は, 主として板厚, 板巾, および焼鈍速度の3要因を考えるのが一般的であり, これらについて層別解析を試みた。すなわち, まず板厚効果は設定温度のいかんを問わず板厚 t mm の増大はストリップ温度 Y°C を低下せしめ通常のプリキ厚みに対しては次

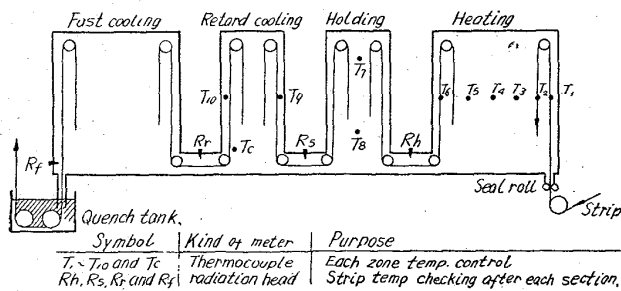


Fig. 1. Arrangement of thermometers in furnace.

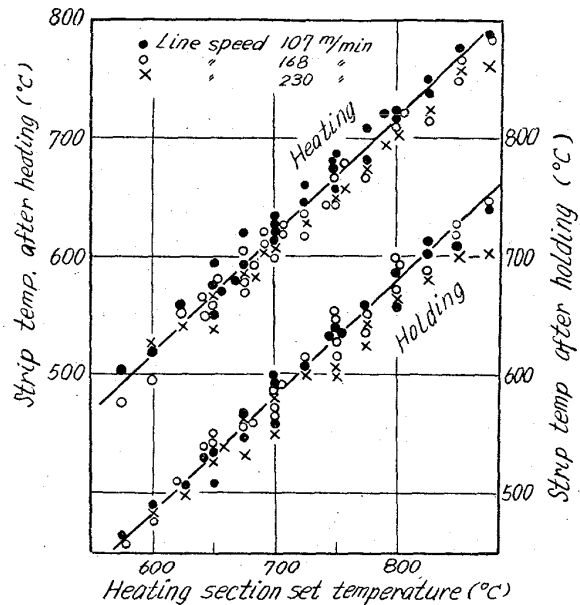


Fig. 2. Heating section set temperature vs strip temperature after each section. (Strip thickness 0.23~0.31mm, width 730~835mm)

のごとき実験式を満足した。しかし, 均熱帯ストリップ温度への影響はほとんどみられなかつた。

$$Y = 777.1 - 408t \dots \dots \dots (2)$$

板巾については, 試験板巾範囲内では全くストリップ温度に影響を与えなかつた。一般に炉内加熱機構から考えて, この結果は取扱可能板巾全域に拡大し得るとみられ, 結局板巾の変化はストリップ温度への影響を全くもたないと考え得る。

一定設定温度下における被加熱帯の温度はいうまでもなく保持時間の函数であり, 一定炉長の連続焼鈍炉ではストリップ在炉時間は焼鈍速度により変化し, 高速になる程速度変化に対する在炉時間の変化は小さくなる。本実験での速度範囲に加え, 特に在炉時間変化化率の大きい極低速まで(46m/min)実験した結果, 設定温度のいかんに関せず焼鈍速度 V t/min の上昇によつてストリップ温度は一定の低下傾向を示し實際上大体次式の関係を適用できる。

$$Y = 691.4 - 0.064V \dots \dots \dots (3)$$

均熱帯出側ストリップ温度は焼鈍速度の上昇に伴うストリップの持込熱量の増大から逆にやや昇温する傾向を示した。これら速度によるストリップ温度の変化は高速範囲では在炉時間変化量の縮小から極めて僅小となり245m/min(800 t/min)以上では(3)式のごとき顕著な効果は現われないと考える。

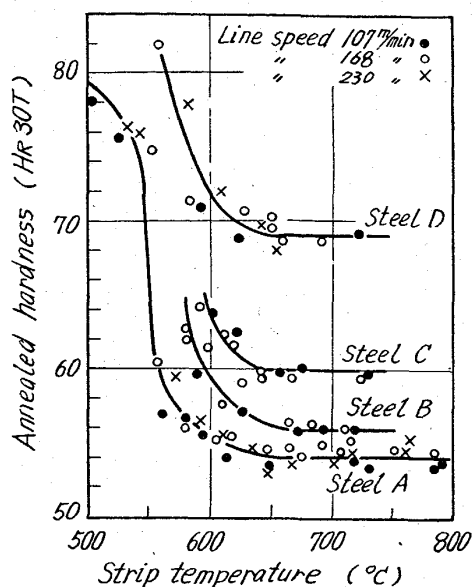


Fig. 3. Strip temperature after heat section vs annealed hardness.

以上のごとく、比較的低速範囲においてストリップ温度に影響をおよぼす諸要因は、實際上(操業上)設定温度、板厚、および焼鈍速度であり、(1)式を満足する基準条件を試験条件の平均(板厚0.27 mm, 焼鈍速度 168 m/min)にとれば(實際上適切であつた)、希望の焼鈍サイクルは(1)(2)および(3)式より設定できる。

(2) ストリップ温度と焼鈍板諸特性

焼鈍板の諸特性、すなわちその硬度、エリクセン値、引張試験値、および結晶粒度などは、ストリップに与えられた最高加熱温度、保持時間、冷却速度などに影響せられることはいうまでもなく、連続焼鈍炉ではこれら焼鈍要因はストリップ温度および焼鈍速度で決定せられる。すなわち本実験のごとく、設定温度と焼鈍速度で与えられた焼鈍サイクルでは、必然的に上記焼鈍要因は決まってくるから、焼鈍板の性質をストリップ温度と焼鈍速度の関係において検討することは合理的であり、かつ実際的である。なお本炉の機構上、1サイクルにおけるストリップ温度の連続測定は不可能であり有効均熱時間²⁾の観点から焼鈍効果を検討することはできないが、これはまた実際的でもない。

Fig. 3は鋼種別にストリップ温度と焼鈍硬度の関係を示す。すなわち全鋼種共通にストリップ温度 550~575 °C 付近で再結晶が起こり急激に硬度低下をみるが、その後は温度上昇とともに漸減し 625~650°C 以上では温度変化にかかわらず大略一定硬度に安定し、Mohr²⁾の

示すごとき温度の上昇に伴う直線的な硬度低下や、A₁変態点以上での硬度の急昇などは全く認められなかつた。また硬度におよぼす焼鈍速度の影響はほとんどみられずこのことは保持時間や冷却速度の影響が、焼鈍温度の効果に比し実際には極めて薄いことを示すものである。事実再焼鈍してもその軟化は極めて僅小(Hr 30 Tで 0.5程度)しか期待できず、目標硬度を異常にはずれるストリップは材質(成分)異常であり連続焼鈍では焼鈍条件を変更してもこれはほとんど救済できない。

焼鈍板の引張試験値、エリクセン値、および結晶粒度などは、いずれも硬度に対応した変化を示し、ストリップ温度 625~650°C 以上では温度および焼鈍速度に関せずほぼ安定化した。これら各鋼種別諸特性安定値をTable 3に示す。すなわちストリップ温度が十分に高ければ焼鈍硬度を始めその他諸性質は、鋼成分の効果を極めて敏感に示すものであり、連続焼鈍では目標硬度に対し鋼成分の選択が重要である。

今本試験結果から、硬化元素の単位硬化量を算出すると、

$$N \text{ の硬化量} = 0.57 \text{ 点} / 0.001\% N$$

$$P \text{ の硬化量} = 0.40 \text{ 点} / 0.010\% P$$

$$\text{キャップド化による硬化量} = 1.3 \text{ 点}$$

を得た。これらの数値は連続焼鈍用鋼種の成分設定上極めて実用的なることが認められている。

以上検討せられたストリップ温度は、いずれも輻射管式温度計の検出値であり厳密には真のストリップ温度ではないが、温度計は一定期間毎に一定条件で補正試験がなされているから、作業温度としての真のストリップ温度同様に取扱うことに不合理はない。

IV. 結 言

炉特性に基づいた実用的焼鈍サイクルという観点から実際の生産炉について研究を行なつた結果、ストリップ温度に影響をおよぼす主要因は、その設定温度の他、焼鈍速度および板厚であり、これらの効果を実験式で求めた。一方焼鈍板特性、特に硬度はほとんど一義的にストリップ温度により変化するが、625~650°C 以上ではほぼ一定値に安定する。かかる範囲では目標硬度に対し鋼成分の設定が重要で、これらに必要な主要元素の単位硬化量を実験的に求めた。すなわち焼鈍サイクル設定上重要な基本的要因をほとんど明白にした。これらの適切な組合せにより実用サイクルの設定が可能であり、事実現これに基づいて十分満足な生産が行なわれている。また、走間硬度計の開発に伴い連続焼鈍炉のコンピューター・コントロールも一部実用化されつつあるが²⁾、これら操業自動化の基礎データとしても本研究結果は有用であると信ずる。

文 献

Table 3. Stable properties of annealed plate.

Steel	Yield strength (kg/mm ²)	Tensile strength (kg/mm ²)	Elongation (%)	Hardness (Hr30T)	Erichsen value (mm)	Grain size (A. S. T. M. No.)
A	34	37	35	54	8.3	10.5
B	37	41	33	56	8.0	10.5
C	37	44	28	60	7.4	11.0
D	46	53	27	69	7.0	10.5

- 1) S. GARBER: J. Iron and Steel Inst.(U.K.), June (1962), p. 466~471
- 2) A. F. MOHRI: General Meeting of AISI May. 1956
- 3) I. E. MADSEN: Iron and Steel Eng., January (1964), p. D-48~D-50

669,14-415:621977.011:539,4.013

(201) プレス成形における形状性におよぼす薄鋼板の機械的性質の影響

八幡製鉄所, 技術研究所 No.64363
高橋 賢司・○中島 浩衛

Influence of Mechanical Properties of Steel Sheet on the Shapability in Press Forming.

Kenji TAKAHASHI and Kōe NAKAJIMA.

I. 緒 言

薄鋼板のプレス成形において発生する問題を大別すると、次の2つがあげられる。第1は成形時に生ずる薄板の破断に関するもので、いわゆる成形限界に関しては多くの研究が行なわれている。第2の問題は、成形限界とは直接関係のない、成形された部品の寸法精度、ベユ、ドミング、張り剛性およびしわの発生などの現象に関するものである。この後者に属する問題は実際のプレス成形においてしばしば発生するトラブルであつて、また十分な系統的な研究が行なわれていない。最近吉田りによつて新しく“形状性”という名称で呼ばれるようになった。

本研究は形状性に対する薄鋼板の機械的性質、およびプレス成形条件などの影響について検討を行なつたものである。形状性について検討を行なうにあたり、特に自動車の door-outer のような、ゆるやかな曲率を有する不等2軸応力条件下にある、浅絞りプレス成形を再現させるために、模型プレス実験を行なつた。

実際のプレス成形では、まずプレス成形を行なつた後続いてフランジアップ、トリミングなどの工程が取られるが、本実験の場合はトリミングを行なわずフランジの付いたままの状態で形状性を検討した。

プレス成形後のトリミングを行なつた状態で良好な形状を得るためには、まず第1にプレス成形工程で所定の良好な形状を得ることが必要条件であろうと考えた。本報告においては、形状のうち、主としてスプリングバックによる寸法精度のみについての検討結果を報告する。

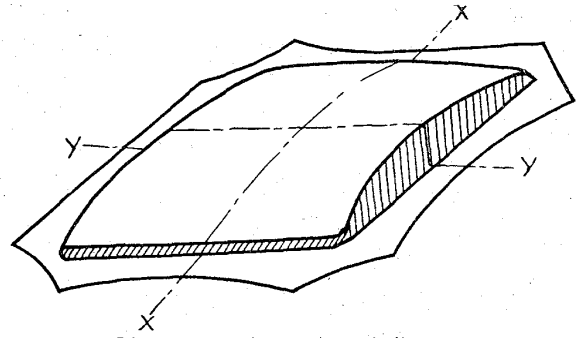
II. 試 験 方 法

1. 模型プレス実験用ポンチ, ダイス寸法

模型プレス実験用ポンチおよびダイスの寸法は、Fig. 1に示したプレス部品の形状ともにあわせ示した。プレス部品は、x x方向はゆるやかな曲率を有してあり、y y方向は曲率をもたない。プレス試験機としては 150 t double action hydraulic press を用いた。

2. プレス条件

ブランクは一辺の長さが700mmの四角形の四隅を切り落した八角形のものを用いた。プレス時のしわ抑え力は10~60 t の範囲で行なつた。またポンチの肩のみに



Dimension of punch and die
Radius of curvature at direction of XX, $r_m=1589\text{mm}$.
Height of a curved surface, $\delta=17.5\text{mm}$.
Length of a side plane 497.2mm.
Radius of curvature of shoulder of die 10mm.

Fig. 1. Shape of pressed part.

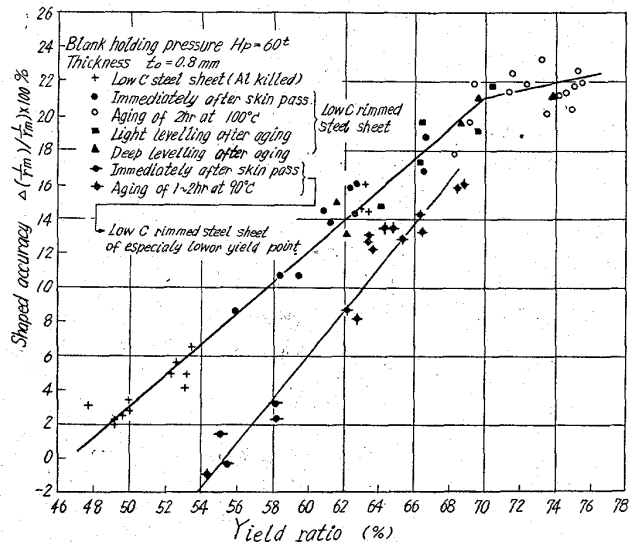


Fig. 2. Effect of yield ratio of steel sheet on the shaped accuracy after press forming.

160#マシン油を塗布してプレス試験を行なつた。

3. プレス後のプレス部品の寸法精度の測定

Fig. 1に示したプレス部品のx x方向の曲面の変化をプロフィールメーターで測定を行なつて曲率半径を求めた。

プレス成形後のスプリングバックによるx x方向の寸法精度を次の(1)(2)式で示した。

$$\Delta \frac{1}{r_m} = \frac{1}{r_m} - \frac{1}{r_m'} \dots \dots \dots (1)$$

$$-\Delta \left(\frac{1}{r_m} \right) / \left(\frac{1}{r_m} \right) = (1 - r_m/r_m') \dots \dots \dots (2)$$

ただし r_m はポンチの曲率半径を示し、 r_m' はプレス部品の曲率半径を示す。

III. 試験結果および検討

1. プレス後の寸法精度と降伏比の関係

しわ抑え力 60 t のもとで、板厚 0.8mm の低炭素鋼板を用いてFig. 1に示した浅絞りプレスを行なつたときの寸法精度と機械的性質との関係を Fig. 2 に示した。Fig. 2からわかるように、降伏比とプレス後の寸法精度との間には直線関係があり、降伏比が小さいほど寸法精